

BAHAN AJAR

Model D-PjBL

• DIGITAL – PROJECT BASED LEARNING •

FISIOLOGI HEWAN

Sistem Regulasi Hewan

Untuk Meningkatkan **Conceptual Understanding (CU)**
dan **Problem Solving Skill (PSS)**



- Student-Centered
- Project-Based
- Digital-Integrated
- Problem Solving Oriented
- Authentic & Collaborative

BELAJAR
BERMAKNA
BERPIKIR KRITIS
BERKOLABORASI
PEMECAHAN
MASALAH NYATA



ATIP NURWAHYUNANI | WIWI ISNAENI | SITI ALIMAH | ADITYA MARIANTI

BAHAN AJAR

Fisiologi Hewan

Sistem Saraf & Sistem Endokrin pada Hewan Vertebrata dan Invertebrata berbasis Model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL)

Penulis : Atip Nurwahyunani
Wiwi Isnaeni
Siti Alimah
Aditya Marianti
Editor : Atip Nurwahyunani
Penata Letak : Atip Nurwahyunani
Desain Sampul : Atip Nurwahyunani
Email : atipnurwahyunan@upgris.ac.id
Website : <https://atipnurwahyunani.com>

HAK CIPTA

Hak cipta © 2026

oleh : Atip Nurwahyunani, Wiwi Isnaeni, Siti Alimah, dan Aditya Marianti

Hak cipta dilindungi oleh Undang-Undang Republik Indonesia. Dilarang memperbanyak, mendistribusikan, atau mentransmisikan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, baik secara elektronik maupun mekanis, termasuk fotokopi, rekaman, atau sistem penyimpanan dan pengambilan informasi, tanpa izin tertulis dari penulis dan/atau penerbit.

Penerbit : (diisi saat pengajuan ISBN)
ISBN : (diajukan melalui Perpustakaan Nasional Republik Indonesia)
Cetakan pertama, Agustus 2026
Isi di luar tanggung jawab percetakan.
Hak cipta dilindungi undang-undang.

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil 'alamin, segala puji bagi Allah SWT' atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga bahan ajar ini dapat diselesaikan dengan baik. Shalawat serta salam semoga senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa umat manusia dari zaman kegelapan menuju zaman yang penuh ilmu pengetahuan.

Bahan ajar ini disusun sebagai salah satu perangkat pembelajaran pada mata kuliah Fisiologi Hewan, khususnya pada materi sistem saraf dan sistem endokrin. Bahan ajar ini dikembangkan berbasis model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL) yang bertujuan untuk mendukung pembelajaran yang tidak hanya menekankan pada penguasaan konsep, tetapi juga pada pengembangan *Problem Solving Skill* (PSS) mahasiswa.

Melalui pendekatan D-PjBL, mahasiswa diharapkan mampu membangun pemahaman konsep fisiologi hewan secara lebih mendalam serta mengaplikasikannya dalam menganalisis berbagai permasalahan fisiologis yang kontekstual. Selain itu, mahasiswa juga didorong untuk mengembangkan solusi dalam bentuk produk digital yang berbasis pada konsep ilmiah yang benar.

Penulis menyadari bahwa bahan ajar ini masih memiliki keterbatasan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang konstruktif demi penyempurnaan bahan ajar ini di masa yang akan datang.

Akhir kata, semoga bahan ajar ini dapat memberikan manfaat bagi mahasiswa, dosen, serta semua pihak yang berkepentingan dalam pengembangan pembelajaran biologi yang inovatif dan bermakna.

“Didiklah anak-anakmu (muridmu) bukan seperti zamanmu, karena mereka diciptakan untuk zaman yang berbeda denganmu.” - Ali bin Abi Thalib r.a.

Semarang, Agustus 2026
Penulis

DAFTAR ISI

Cover	i
Bahan ajar.....	ii
Kata pengantar.....	iii
Daftar isi	iv
Bab i. Pendahuluan.....	1
Peta konsep dan ruang lingkup materi	7
Bab ii. Peta konsep dan ruang lingkup materi	8
Bab iii. Sistem saraf pada hewan	10
Bab iv. Sistem endokrin pada hewan.....	20
Bab v. Integrasi sistem saraf dan sistem endokrin.....	28
Bab vi. Implementasi proyek digital	32
Bab vii. Penutup.....	34
Daftar pustaka.....	37

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pembelajaran fisiologi hewan merupakan bagian penting dalam pendidikan biologi yang menuntut pemahaman konseptual yang mendalam serta kemampuan dalam menganalisis berbagai fenomena fisiologis. Materi sistem saraf dan sistem endokrin memiliki karakteristik yang kompleks, karena melibatkan mekanisme kerja yang abstrak serta keterkaitan antar sistem dalam menjaga keseimbangan tubuh (homeostasis).

Dalam praktik pembelajaran, mahasiswa sering mengalami kesulitan dalam memahami konsep secara utuh dan mengaplikasikannya dalam konteks pemecahan masalah. Pembelajaran yang masih berorientasi pada penyampaian materi menyebabkan mahasiswa cenderung menghafal konsep tanpa mampu menggunakannya untuk menjelaskan fenomena fisiologis secara ilmiah.

Padahal, dalam pembelajaran biologi, kemampuan yang sangat penting untuk dikembangkan adalah pemahaman konsep dan *Problem Solving Skill* (PSS). Pemahaman konsep memungkinkan mahasiswa membangun struktur pengetahuan yang terorganisasi, sedangkan *Problem Solving Skill* (PSS) memungkinkan mahasiswa menggunakan konsep tersebut dalam menghadapi situasi nyata.

Salah satu pendekatan yang dapat memfasilitasi kedua kemampuan tersebut adalah *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL). Model ini mengarahkan mahasiswa untuk belajar melalui penyelesaian masalah kontekstual yang diwujudkan dalam bentuk proyek digital, sehingga mahasiswa tidak hanya memahami

konsep, tetapi juga mampu menerapkannya dalam konteks yang relevan.

Oleh karena itu, bahan ajar ini dikembangkan sebagai sumber konseptual dalam Model *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL). Materi digunakan mahasiswa untuk memahami dan menganalisis fenomena, memeriksa bukti, menilai ketepatan penjelasan, serta mencipta representasi ilmiah. *Conceptual Understanding* (CU) diukur secara individual pada aspek C2, C4, C5, dan C6. *Problem Solving Skill* (PSS) difasilitasi dan dinilai pada unit kelompok melalui aspek *understanding*, *planning*, *solving*, dan *evaluating* yang dibuktikan dalam LKM serta proyek autentik.

B. Tujuan Penggunaan Bahan Ajar

Bahan ajar ini bertujuan untuk:

1. Membantu mahasiswa memahami konsep sistem saraf dan sistem endokrin secara mendalam dan terintegrasi
2. Membantu mahasiswa menganalisis permasalahan fisiologis berdasarkan konsep ilmiah
3. Mendukung pengembangan Problem Solving Skill (PSS) melalui pembelajaran berbasis proyek
4. Memfasilitasi mahasiswa dalam mengembangkan solusi dalam bentuk produk digital
5. Mengaitkan konsep fisiologi hewan dengan fenomena nyata

C. Capaian Pembelajaran yang Didukung

Bahan ajar ini mendukung capaian pembelajaran sebagai berikut:

1. Mahasiswa mampu memahami konsep sistem saraf dan sistem endokrin secara ilmiah

2. Mahasiswa mampu menganalisis permasalahan fisiologis berbasis konsep
3. Mahasiswa mampu merancang solusi terhadap masalah fisiologis
4. Mahasiswa mampu mengembangkan produk digital berbasis konsep ilmiah

D. Posisi Bahan Ajar dalam Model D-PjBL

Bahan ajar ini merupakan bagian integral dari pembelajaran berbasis *Digital Project-Based Learning* (D-PjBL).

Dalam model ini:

- a. bahan ajar digunakan untuk memahami konsep
- b. konsep digunakan untuk menganalisis masalah
- c. hasil analisis digunakan untuk merancang solusi
- d. solusi diwujudkan dalam proyek digital

Dengan demikian, bahan ajar berfungsi sebagai penghubung antara: **konsep → masalah autentik → bukti → alternatif solusi → produk → umpan balik → revisi → diseminasi**

Produk penelitian ditetapkan secara konsisten: poster digital untuk Sistem Saraf dan video edukasi untuk Sistem Endokrin. Bahan ajar menyediakan konsep dan kasus; petunjuk kerja terperinci tetap berada dalam LKM agar kedua perangkat tidak tumpang tindih.

E. Petunjuk Penggunaan Bahan Ajar

Bahan ajar ini digunakan sebagai panduan dalam pembelajaran berbasis proyek dengan langkah:

1. Mempelajari konsep sebagai dasar pemahaman
2. Menggunakan konsep untuk menganalisis masalah
3. Mengembangkan solusi berbasis konsep

4. Mengintegrasikan konsep ke dalam produk digital
5. Merefleksikan pemahaman yang diperoleh

Tabel 1. Peta Penggunaan Bahan Ajar dalam Sintaks 6D

Sintaks	Pemanfaatan bahan ajar	Luaran antara
Define	Membaca fenomena dan menandai konsep yang belum dipahami.	Masalah, fakta, dan pertanyaan proyek.
Design	Membandingkan sumber dan memilih konsep yang diperlukan.	Rencana poster/storyboard, sumber, dan kriteria.
Develop	Menggunakan konsep untuk menyusun penjelasan dan solusi.	Draf poster atau video.
Demonstrate	Menjelaskan alasan ilmiah di balik produk.	Presentasi dan umpan balik.
Debrief	Memeriksa miskonsepsi, kelemahan bukti, dan kualitas solusi.	Catatan refleksi dan revisi.
Disseminate	Memastikan akurasi, sitasi, hak cipta, dan keterbacaan.	Poster/video final dan bukti publikasi.

F. Keterkaitan dengan CPMK

Bahan ajar ini mendukung pencapaian CPMK, khususnya dalam:

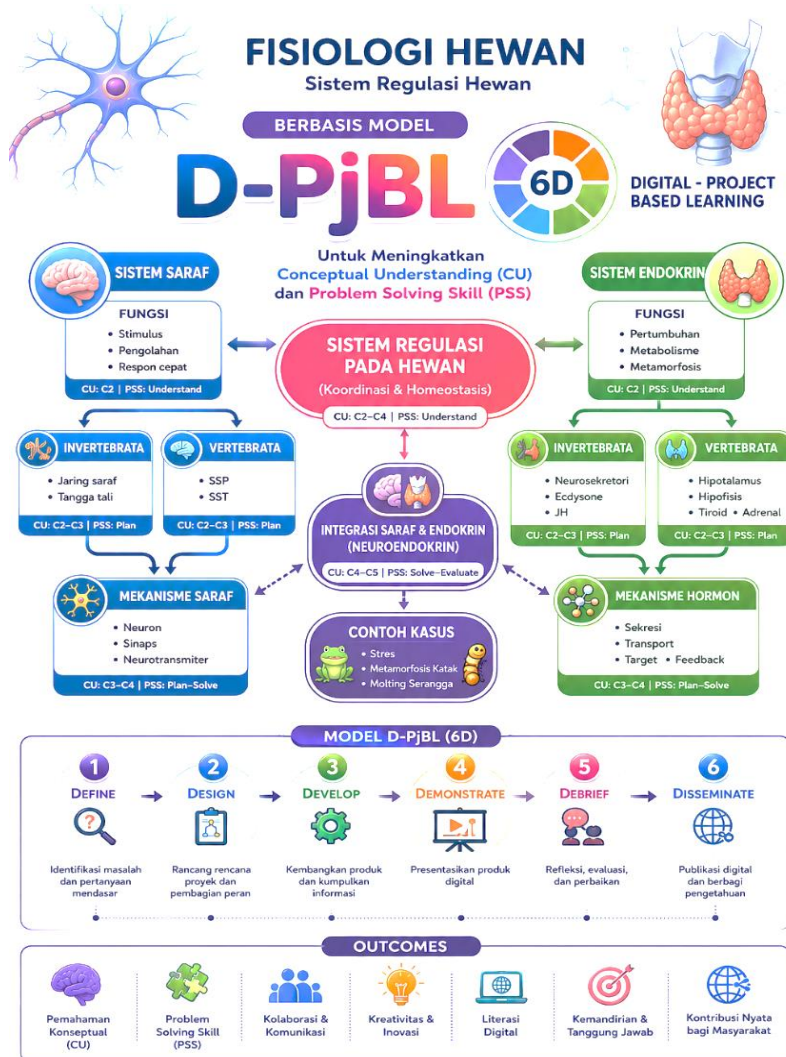
1. Pemahaman konsep fisiologi hewan
2. Kemampuan memecahkan masalah fisiologis
3. Pengembangan solusi berbasis proyek digital

Tabel 2. Pemetaan Fungsi Bahan Ajar dalam Mendukung Capaian CU dan PSS pada Model D-PjBL

Fokus	Aspek	Fungsi bahan ajar	Bukti dalam proyek
CU	C2 memahami	Menjelaskan struktur, fungsi, mekanisme, dan hubungan antarkonsep.	Penjelasan ilmiah pada poster/video.
CU	C4 menganalisis	Menguraikan hubungan sebab–akibat dan membandingkan regulasi vertebrata–invertebrata.	Analisis fenomena dan pemilihan bukti.
CU	C5 mengevaluasi	Menilai akurasi sumber, penjelasan, solusi, dan representasi ilmiah.	Alasan revisi setelah umpan balik.
CU	C6 mencipta	Menyusun representasi konseptual yang koheren dan komunikatif.	Poster Sistem Saraf atau video Sistem Endokrin.

PSS	<i>Understanding</i>	Mengidentifikasi masalah, fakta, konsep, batasan, dan tujuan.	Rumusan masalah dalam LKM.
PSS	<i>Planning</i>	Memilih strategi, sumber, pembagian peran, dan kriteria keberhasilan.	Rancangan poster/storyboard video.
PSS	<i>Solving</i>	Mengembangkan solusi dan produk berdasarkan bukti ilmiah.	Draf dan produk kelompok.
PSS	<i>Evaluating</i>	Memeriksa hasil, menanggapi umpan balik, dan memperbaiki solusi.	Catatan revisi dan produk final.

PETA KONSEP DAN RUANG LINGKUP MATERI



Gambar 1. Peta Konsep Dan Ruang Lingkup Materi

BAB II. PETA KONSEP DAN RUANG LINGKUP MATERI

A. Pendahuluan Materi

Sistem saraf dan sistem endokrin merupakan dua sistem pengendali utama yang berperan dalam mengatur, mengoordinasikan, dan mengintegrasikan berbagai fungsi fisiologis tubuh hewan. Kedua sistem ini bekerja secara sinergis untuk menjaga kestabilan kondisi internal tubuh (homeostasis) serta memungkinkan hewan merespons perubahan lingkungan secara tepat.

Pemahaman terhadap sistem saraf dan sistem endokrin sangat penting bagi mahasiswa calon guru biologi, karena konsep ini menjadi dasar dalam menjelaskan berbagai fenomena fisiologis pada hewan vertebrata dan invertebrata, baik dalam kondisi normal maupun pada kasus gangguan fisiologis.

B. Integrasi Sistem Saraf dan Sistem Endokrin

Sistem saraf dan sistem endokrin tidak bekerja secara terpisah, melainkan saling berinteraksi dalam mengatur fungsi tubuh hewan. Integrasi kedua sistem ini terlihat jelas pada hubungan antara hipotalamus dan kelenjar hipofisis sebagai pusat pengendali neuroendokrin.

Sistem saraf berperan dalam menyampaikan sinyal dengan cepat, sedangkan sistem endokrin memperkuat dan mempertahankan respons dalam jangka waktu yang lebih panjang. Integrasi ini memungkinkan tubuh hewan memberikan

respons yang tepat terhadap berbagai perubahan kondisi internal dan eksternal.

Pemahaman integrasi sistem saraf dan sistem endokrin menjadi dasar penting dalam menganalisis berbagai permasalahan fisiologis, seperti gangguan stres, pertumbuhan abnormal, gangguan metabolisme, dan masalah reproduksi.

C. Keterkaitan Materi dengan Pembelajaran Berbasis D-PjBL

Materi sistem saraf dan sistem endokrin dalam bahan ajar ini disusun untuk mendukung pembelajaran berbasis Digital Project-Based Learning (D-PjBL) dengan sintaks 6D. Konsep-konsep esensial yang disajikan menjadi landasan bagi mahasiswa dalam menganalisis masalah, merancang solusi, dan mengembangkan proyek digital edukatif.

Melalui pembelajaran berbasis proyek, mahasiswa diharapkan mampu mengintegrasikan pemahaman konsep fisiologi hewan dengan Problem Solving Skill (PSS) dalam konteks pembelajaran biologi yang aplikatif dan kontekstual.

Materi ini akan digunakan sebagai dasar dalam mengkaji permasalahan fisiologis melalui pembelajaran berbasis proyek digital.

BAB III. SISTEM SARAF PADA HEWAN

A. Pendahuluan

Sistem saraf merupakan sistem koordinasi utama pada hewan yang berfungsi menerima, memproses, dan merespons rangsangan dari lingkungan internal maupun eksternal. Melalui sistem saraf, organisme mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan secara cepat dan terarah. Pemahaman mengenai sistem saraf menjadi dasar penting dalam mempelajari mekanisme regulasi fisiologis pada hewan vertebrata maupun invertebrata.

Dalam pembelajaran berbasis Digital Project-Based Learning (D-PjBL), materi sistem saraf tidak hanya dipelajari sebagai kumpulan konsep, tetapi sebagai landasan untuk menganalisis permasalahan fisiologis nyata. Mahasiswa diarahkan untuk mengaitkan struktur dan mekanisme kerja sistem saraf dengan fenomena biologis yang terjadi pada organisme hidup.

B. Tujuan Pembelajaran Materi

Setelah mempelajari materi ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan pengertian dan fungsi sistem saraf pada hewan.
2. Mengidentifikasi struktur dasar penyusun sistem saraf.
3. Menganalisis mekanisme penghantaran impuls saraf.
4. Membedakan karakteristik sistem saraf pada hewan invertebrata dan vertebrata.

5. Menerapkan konsep sistem saraf dalam pemecahan masalah fisiologis kontekstual.

C. Pengertian dan Fungsi Sistem Saraf

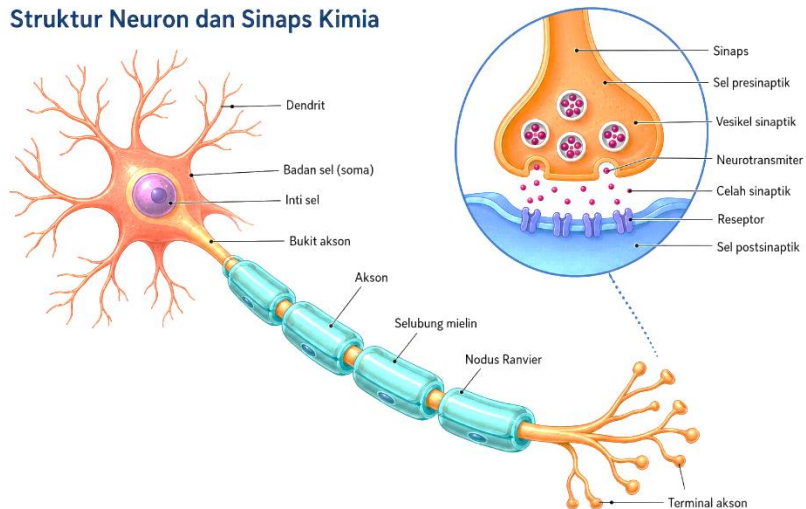
Sistem saraf adalah sistem koordinasi yang tersusun atas sel-sel saraf (neuron) dan sel pendukung (neuroglia) yang berperan dalam menerima rangsangan, menghantarkan impuls, serta mengoordinasikan respons tubuh. Sistem ini memungkinkan organisme merespons rangsangan dengan cepat dan terintegrasi.

Fungsi utama sistem saraf meliputi:

1. Menerima rangsangan (stimulus) dari lingkungan.
2. Mengolah dan mengintegrasikan informasi.
3. Menghasilkan respons berupa aktivitas otot atau kelenjar.

Pada hewan dengan tingkat organisasi yang lebih kompleks, sistem saraf bekerja secara terkoordinasi dengan sistem endokrin untuk menjaga keseimbangan fisiologis tubuh.

Struktur Neuron dan Sinaps Kimia



Gambar 3.1. Sel Saraf

D. Struktur Dasar Sistem Saraf

Sistem saraf tersusun atas unit fungsional yang disebut neuron serta sel pendukung yang disebut sel glia (neuroglia). Neuron berfungsi sebagai penghantar impuls saraf, sedangkan sel glia berperan dalam mendukung, melindungi, dan memelihara fungsi neuron.

Secara umum, neuron memiliki tiga bagian utama, yaitu:

1. **Dendrit**, berfungsi menerima rangsangan atau impuls dari neuron lain atau dari reseptor.
2. **Badan sel (soma)**, mengandung inti sel dan berperan dalam pengolahan informasi.
3. **Akson**, berfungsi menghantarkan impuls saraf menjauhi badan sel menuju neuron lain atau efektor.

Struktur neuron yang terspesialisasi memungkinkan sistem saraf bekerja secara cepat dan terarah dalam mengoordinasikan respons tubuh.

E. Jenis-Jenis Neuron Berdasarkan Fungsi

Berdasarkan fungsinya, neuron dibedakan menjadi:

1. **Neuron sensorik**, yang menghantarkan impuls dari reseptor menuju sistem saraf pusat.
2. **Neuron motorik**, yang menghantarkan impuls dari sistem saraf pusat menuju efektor (otot atau kelenjar).
3. **Interneuron**, yang berfungsi menghubungkan neuron sensorik dan neuron motorik di dalam sistem saraf pusat.

Pembagian fungsi neuron ini menunjukkan adanya alur informasi yang sistematis dalam sistem saraf, mulai dari penerimaan rangsangan hingga munculnya respons.

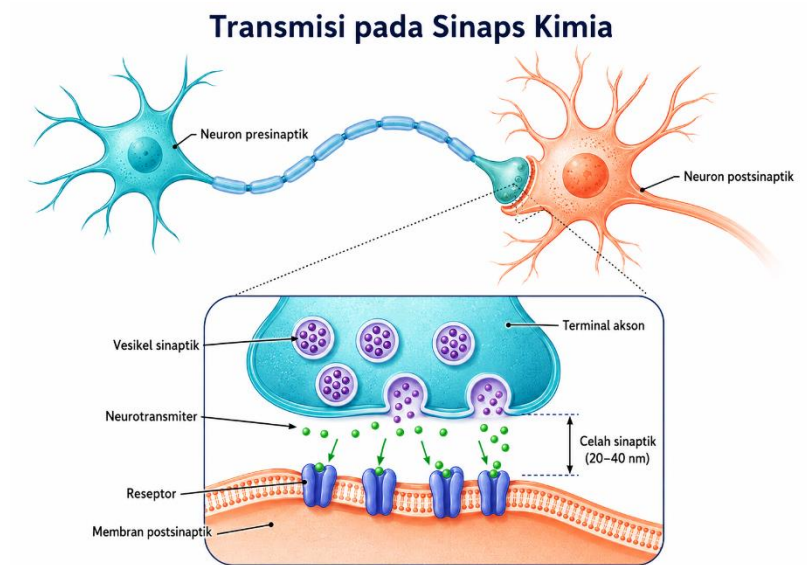
F. Mekanisme Penghantaran Impuls Saraf

Impuls saraf merupakan sinyal listrik yang dihantarkan sepanjang membran neuron akibat perubahan potensial listrik. Proses ini melibatkan:

- **Potensial istirahat**, yaitu kondisi membran neuron saat tidak menghantarkan impuls.
- **Potensial aksi**, yaitu perubahan potensial membran akibat masuknya ion natrium (Na^+) dan keluarnya ion kalium (K^+).

Penghantaran impuls saraf terjadi secara searah dan mengikuti prinsip **all-or-none**, di mana impuls hanya akan terjadi jika rangsangan mencapai ambang tertentu.

Pemahaman mekanisme ini penting untuk menjelaskan berbagai fenomena fisiologis, termasuk gangguan penghantaran impuls akibat kerusakan neuron atau ketidakseimbangan ion.



Gambar 3.2. Proses penghantaran sinyal saraf pada sinaps

G. Sistem Saraf pada Hewan Invertebrata

Sistem saraf pada hewan invertebrata menunjukkan tingkat kompleksitas yang beragam, bergantung pada tingkat organisasi tubuhnya. Secara umum, sistem saraf invertebrata belum terdiferensiasi secara kompleks seperti pada vertebrata, namun telah mampu mengoordinasikan respons terhadap rangsangan secara efektif.

Pada kelompok invertebrata sederhana, seperti Porifera, sistem saraf belum berkembang secara nyata. Respons terhadap rangsangan terjadi melalui mekanisme seluler sederhana. Pada Cnidaria, sistem saraf berbentuk jaring saraf (nerve net) yang memungkinkan impuls menyebar ke berbagai arah.

Pada kelompok yang lebih kompleks, seperti Platyhelminthes dan Annelida, sistem saraf mulai menunjukkan sentralisasi dalam bentuk tangga tali (ladder-like nervous system). Struktur ini memungkinkan koordinasi gerak yang lebih terarah dibandingkan sistem saraf difus.

Pada Arthropoda, sistem saraf terdiri atas ganglion-ganglion yang tersusun secara segmental, dengan adanya ganglion otak yang berfungsi sebagai pusat koordinasi utama.

H. Sistem Saraf pada Hewan Vertebrata

Sistem saraf pada hewan vertebrata memiliki tingkat organisasi yang lebih kompleks dan terpusat. Sistem ini dibagi menjadi:

1. Sistem saraf pusat, yang terdiri atas otak dan sumsum tulang belakang.
2. Sistem saraf tepi, yang menghubungkan sistem saraf pusat dengan reseptor dan efektor.

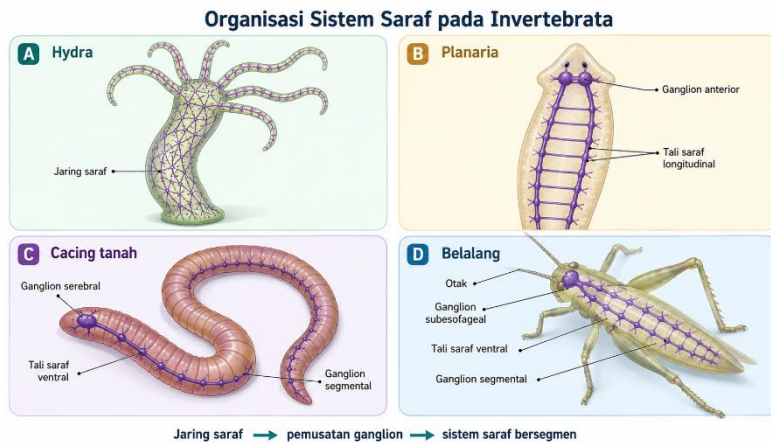
Otak vertebrata berperan sebagai pusat pengendali aktivitas tubuh, sedangkan sumsum tulang belakang berfungsi sebagai jalur penghantaran impuls serta pusat refleks. Diferensiasi struktur ini memungkinkan vertebrata melakukan respons yang cepat, terkoordinasi, dan adaptif.

I. Perbandingan Sistem Saraf Invertebrata dan Vertebrata

Perbedaan sistem saraf invertebrata dan vertebrata dapat dilihat dari tingkat sentralisasi dan kompleksitas strukturnya. Invertebrata umumnya memiliki sistem saraf yang lebih sederhana dan tersebar, sedangkan vertebrata memiliki sistem saraf yang terpusat dan terorganisasi dengan baik.

Perbedaan ini berpengaruh terhadap kemampuan hewan dalam merespons rangsangan, belajar, dan beradaptasi terhadap lingkungan. Semakin kompleks sistem saraf, semakin tinggi pula kemampuan integrasi informasi yang dimiliki organisme. Perbedaan sistem saraf invertebrata dan vertebrata sangat penting dalam mekanisme fisiologis, seperti:

- perbedaan pola respons terhadap rangsangan,
- variasi mekanisme refleks, dan
- dampak kerusakan sistem saraf pada berbagai kelompok hewan.



Gambar 3.3. Sistem saraf Invertebrata

Tabel 1. Perbandingan Sistem Saraf pada Hewan Invertebrata dan Vertebrata

Aspek Perbandingan	Sistem Saraf Invertebrata	Sistem Saraf Vertebrata
Tingkat Organisasi	Relatif sederhana hingga sedang	Kompleks dan terorganisasi
Sentralisasi	Umumnya tidak terpusat atau semi-terpusat	Terpusat dengan jelas
Struktur Utama	Jaring saraf, ganglion, atau sistem tangga tali	Otak dan sumsum tulang belakang
Unit Pengendali	Ganglion atau kumpulan neuron lokal	Otak sebagai pusat pengendali
Sistem Saraf Pusat	Belum terdiferensiasi jelas	Terdiferensiasi jelas (SSP & SST)
Arah Penghantaran Impuls	Dapat menyebar ke berbagai arah	Terarah dan terkoordinasi
Kecepatan Respons	Relatif lebih lambat	Relatif lebih cepat
Koordinasi Gerak	Terbatas, bergantung segmen tubuh	Terkoordinasi dan kompleks
Kemampuan Integrasi Informasi	Rendah hingga sedang	Tinggi

Contoh Hewan	Hydra, cacing tanah, serangga	Ikan, amfibi, reptil, burung, mamalia
Adaptasi terhadap Lingkungan	Lebih sederhana	Lebih adaptif dan fleksibel
Implikasi Fisiologis	Respons lokal dan refleks sederhana	Respons refleks dan sadar



Gambar 3.4. Gangguan respon saraf pada hewan

J. Jembatan Konsep ke Proyek Poster Sistem Saraf

Kasus autentik: paparan pestisida tertentu dapat mengganggu transmisi saraf serangga sehingga orientasi, gerak, atau respons terhadap lingkungan berubah. Berdasarkan materi Sistem Saraf, identifikasi bagian jalur stimulus–reseptor–integrasi–efektor–

respons yang mungkin terganggu. Bedakan fakta, dugaan, dan informasi yang masih perlu dicari.

Pertanyaan pengarah CU: (C2) jelaskan mekanisme yang relevan; (C4) analisis hubungan sebab–akibat; (C5) nilai kualitas bukti dan alternatif penjelasan; (C6) susun representasi ilmiah yang tepat untuk poster.

Arah proyek: gunakan hasil analisis sebagai landasan poster digital Sistem Saraf. Poster harus memuat masalah, mekanisme fisiologis, perbandingan vertebrata–invertebrata bila relevan, solusi atau pesan ilmiah, sumber, serta hasil revisi. Langkah kerja dan ruang jawaban terdapat dalam LKM Mahasiswa.

BAB IV. SISTEM ENDOKRIN PADA HEWAN

A. Pendahuluan

Sistem endokrin merupakan sistem regulasi pada hewan yang bekerja melalui pelepasan hormon ke dalam aliran darah untuk mengatur berbagai fungsi fisiologis tubuh. Berbeda dengan sistem saraf yang bekerja cepat melalui impuls listrik, sistem endokrin bekerja lebih lambat namun memiliki efek yang berlangsung lebih lama.

Dalam tubuh hewan, sistem endokrin berperan penting dalam mengatur pertumbuhan, perkembangan, metabolisme, reproduksi, serta menjaga keseimbangan internal (homeostasis). Oleh karena itu, pemahaman sistem endokrin menjadi bagian penting dalam kajian fisiologi hewan, baik pada kelompok vertebrata maupun invertebrata.

Dalam pembelajaran berbasis Digital Project-Based Learning (D-PjBL), materi sistem endokrin digunakan sebagai konteks untuk menganalisis permasalahan fisiologis yang berkaitan dengan gangguan hormonal serta interaksinya dengan sistem saraf.

B. Tujuan Pembelajaran Materi

Setelah mempelajari materi sistem endokrin, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan pengertian dan fungsi sistem endokrin pada hewan.
2. Mengidentifikasi jenis hormon dan kelenjar endokrin.
3. Menganalisis mekanisme kerja hormon dalam tubuh hewan.

4. Membandingkan sistem endokrin pada hewan vertebrata dan invertebrata.
5. Menerapkan konsep sistem endokrin dalam pemecahan masalah fisiologis berbasis kasus.

C. Pengertian dan Karakteristik Sistem Endokrin

Sistem endokrin mengatur fungsi tubuh melalui hormon, yaitu pembawa pesan kimia yang dihasilkan oleh sel, jaringan, organ, atau kelenjar endokrin. Pada vertebrata, banyak hormon dilepas ke sirkulasi dan bekerja pada sel target yang memiliki reseptor sesuai. Pada invertebrata, sinyal hormonal dapat berasal dari sel neurosekretori atau jaringan endokrin dan bekerja secara sistemik maupun lokal. Karena itu, sistem endokrin tidak selalu identik dengan kumpulan kelenjar khusus.

Karakteristik utama sistem endokrin antara lain:

1. Bekerja melalui zat kimia (hormon).
2. Efek kerja relatif lambat dibandingkan sistem saraf.
3. Pengaruh hormon bersifat spesifik terhadap organ target.
4. Efek kerja hormon berlangsung relatif lama.

Karakteristik ini menyebabkan sistem endokrin berperan penting dalam regulasi jangka panjang pada organisme.

D. Hubungan Sistem Endokrin dengan Sistem Saraf

Sistem endokrin dan sistem saraf tidak bekerja secara terpisah, melainkan saling berinteraksi untuk mengoordinasikan respons tubuh. Interaksi ini terlihat jelas pada kerja hipotalamus, yang berperan sebagai penghubung antara sistem saraf dan sistem endokrin.

Melalui interaksi tersebut, tubuh mampu mengintegrasikan respons cepat dari sistem saraf dengan regulasi jangka panjang oleh sistem endokrin. Pemahaman keterkaitan ini sangat penting

dalam menganalisis gangguan fisiologis yang melibatkan lebih dari satu sistem regulasi.

E. Kelenjar Endokrin pada Hewan

Kelenjar endokrin merupakan kelenjar yang menghasilkan hormon dan melepaskannya langsung ke dalam aliran darah tanpa melalui saluran khusus. Hormon yang dihasilkan akan bekerja pada organ target yang memiliki reseptor spesifik.

Pada hewan vertebrata, kelenjar endokrin utama meliputi:

1. Hipotalamus, berperan sebagai penghubung sistem saraf dan sistem endokrin.
2. Hipofisis, berfungsi sebagai kelenjar pengendali yang mengatur kerja kelenjar endokrin lainnya.
3. Tiroid, berperan dalam pengaturan metabolisme dan pertumbuhan.
4. Paratiroid, berperan dalam pengaturan kadar kalsium dan fosfat.
5. Pankreas, menghasilkan hormon yang mengatur kadar glukosa darah.
6. Adrenal, berperan dalam respons stres dan regulasi metabolisme.
7. Gonad (testis dan ovarium), berperan dalam reproduksi dan perkembangan seksual.

Keberadaan kelenjar endokrin ini memungkinkan terjadinya regulasi fisiologis yang terintegrasi dan berkelanjutan.



Gambar 4.1. Perbedaan antara sistem saraf dengan sistem endokrin

F. Jenis-Jenis Hormon Berdasarkan Sifat Kimia

Berdasarkan sifat kimianya, hormon dapat dikelompokkan menjadi:

1. Hormon peptida, tersusun atas rantai asam amino dan bekerja melalui reseptor membran sel.
2. Hormon steroid, berasal dari kolesterol dan dapat menembus membran sel untuk berikatan dengan reseptor intraseluler.
3. Hormon amina, berasal dari asam amino tirosin atau triptofan dan memiliki mekanisme kerja yang beragam.

Perbedaan sifat kimia hormon memengaruhi cara kerja, kecepatan respons, serta durasi efek hormon terhadap sel target.

G. Mekanisme Kerja Hormon

Hormon bekerja dengan cara berikatan pada reseptor spesifik di sel target. Ikatan ini memicu rangkaian reaksi biokimia yang menghasilkan respons fisiologis tertentu.

Secara umum, mekanisme kerja hormon melibatkan:

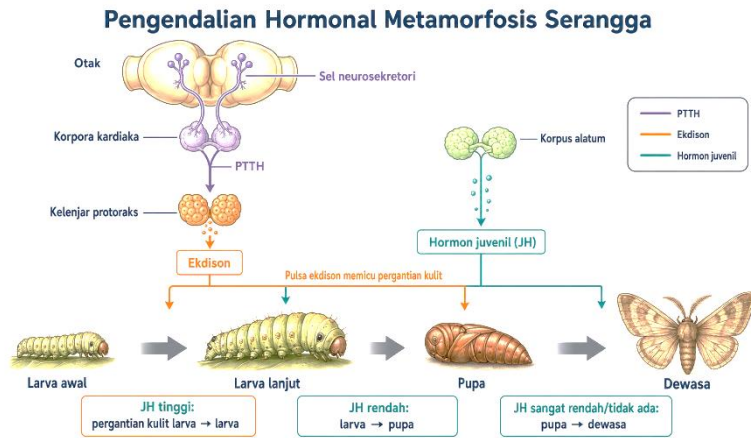
1. Pengenalan hormon oleh reseptor.
2. Transduksi sinyal di dalam sel.
3. Munculnya respons fisiologis spesifik.

Pemahaman mekanisme ini penting untuk menjelaskan berbagai gangguan endokrin, seperti resistensi hormon atau kelebihan produksi hormon.

H. Sistem Endokrin pada Hewan Invertebrata

Pada invertebrata, organisasi endokrin berbeda dari pola kelenjar vertebrata, tetapi tidak dapat dianggap sekadar lebih rendah atau tidak berkembang. Sel neurosekretori dan jaringan endokrin menghasilkan sinyal yang mengatur pertumbuhan, pergantian kulit, metamorfosis, reproduksi, metabolisme, osmoregulasi, dan perilaku. Pada serangga, interaksi hormon protorasikotropik, ecdison, dan hormon juvenil mengatur pergantian kulit serta metamorfosis; kadar dan waktu pelepasannya menentukan karakter perubahan perkembangan.

Sebagai contoh, pada serangga, hormon seperti ecdison dan hormon juvenil berperan penting dalam proses pertumbuhan dan metamorfosis. Hal ini menunjukkan bahwa sistem endokrin juga memiliki peran vital dalam pengaturan kehidupan invertebrata.



Gambar 4.2. Hormon yang mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan serangga

Tabel 2. Perbedaan Sistem Endokrin Invertebrata vs Vertebrata

Aspek Perbedaan	Sistem Endokrin Invertebrata	Sistem Endokrin Vertebrata
Tingkat Kompleksitas	Beragam menurut filum; dapat memiliki jaringan neuroendokrin yang kompleks	Terorganisasi dalam sumbu neuroendokrin dan organ/kelenjar
Struktur Kelenjar	Sel neurosekretori, organ neurohemal, atau jaringan endokrin	Sel, jaringan, organ, dan kelenjar endokrin
Pusat Pengendali	Beragam; ganglion/otak dan sel neurosekretori pada banyak kelompok	Hipotalamus–hipofisis dan jaringan endokrin perifer
Jenis Hormon Utama	Hormon pertumbuhan, metamorfosis	Hormon pertumbuhan,

		metabolisme, reproduksi
Contoh Hormon	Ekdison, hormon juvenil	Tiroksin, insulin, adrenalin
Mekanisme Kerja	Sinyal lokal dan sistemik melalui reseptor target	Sinyal lokal dan sistemik melalui reseptor target
Kecepatan Respons	Relatif lambat	Lambat hingga sedang
Durasi Efek	Relatif lama	Lama dan terkontrol
Spesifisitas Target	Terbatas	Tinggi (reseptor spesifik)
Integrasi dengan Sistem Saraf	Integrasi neuroendokrin nyata dan beragam	Integrasi erat melalui sumbu neuroendokrin
Peran dalam Homeostasis	Penting dalam perkembangan, reproduksi, metabolisme, dan osmoregulasi	Penting dalam pertumbuhan, reproduksi, metabolisme, dan homeostasis
Contoh Hewan	Serangga, moluska	Ikan, amfibi, reptil, burung, mamalia



Gambar 4.3. Gangguan hormon pada hewan

I. Jembatan Konsep ke Proyek Video Sistem Endokrin

Kasus autentik: perubahan suhu, pencemaran, ketersediaan pakan, atau kondisi perkembangan dapat mengubah regulasi hormon pada hewan. Pilih satu fenomena dan petakan stimulus–sel/kelenjar endokrin–hormon–reseptor target–respons–umpan balik.

Pertanyaan pengarah CU: (C2) jelaskan kerja hormon; (C4) analisis hubungan sebab–akibat dan perbedaan vertebrata–invertebrata; (C5) nilai akurasi sumber serta kelayakan solusi; (C6) susun narasi dan visual yang koheren untuk video.

Arah proyek: gunakan hasil analisis sebagai landasan video edukasi Sistem Endokrin. Video harus memuat masalah, mekanisme hormonal, bukti ilmiah, solusi atau pesan edukatif, narasi/visual, kredit sumber, serta revisi berdasarkan umpan balik.

BAB V. INTEGRASI SISTEM SARAF DAN SISTEM ENDOKRIN

Sistem saraf dan sistem endokrin merupakan dua sistem regulasi utama pada hewan yang bekerja secara terintegrasi untuk menjaga kestabilan fungsi tubuh. Meskipun memiliki mekanisme kerja yang berbeda, kedua sistem ini saling melengkapi dalam mengoordinasikan respons fisiologis terhadap perubahan lingkungan internal maupun eksternal.

Sistem saraf bekerja cepat melalui impuls listrik dan neurotransmitter, sedangkan sistem endokrin bekerja lebih lambat melalui hormon yang diedarkan melalui darah. Integrasi keduanya memungkinkan tubuh memberikan respons yang cepat sekaligus mempertahankan efek regulasi dalam jangka panjang.

A. Peran Hipotalamus sebagai Penghubung

Hipotalamus merupakan struktur penting yang berfungsi sebagai penghubung antara sistem saraf dan sistem endokrin. Hipotalamus menerima informasi dari sistem saraf dan menerjemahkannya menjadi sinyal hormonal yang mengatur kelenjar hipofisis.

Melalui mekanisme ini, aktivitas saraf dapat memengaruhi pelepasan hormon, sehingga respons tubuh dapat disesuaikan secara tepat terhadap kondisi yang dihadapi organisme.

B. Mekanisme Regulasi dan Umpan Balik (Feedback)

Regulasi sistem saraf–endokrin umumnya melibatkan mekanisme umpan balik (feedback), terutama umpan balik negatif. Dalam mekanisme ini, peningkatan kadar hormon

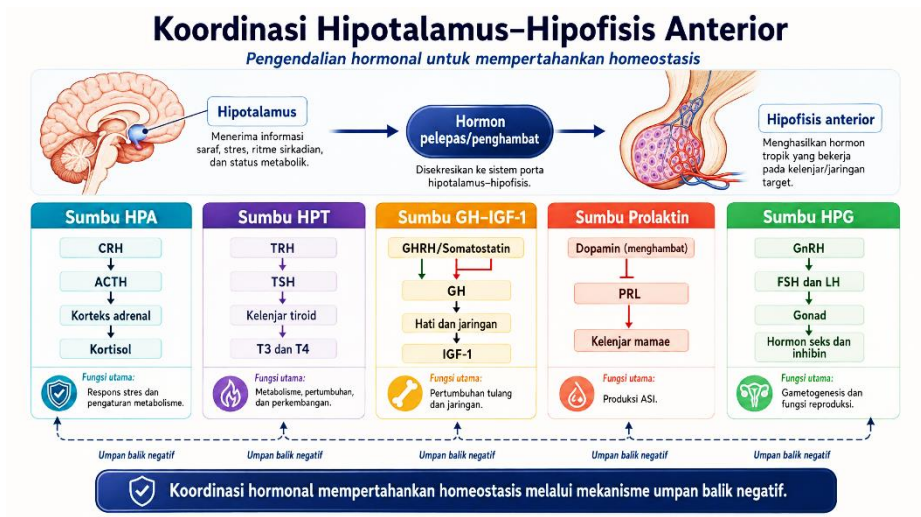
tertentu akan menghambat pelepasan hormon pengendali, sehingga menjaga keseimbangan internal tubuh.

Sebagai contoh, peningkatan kadar hormon tiroksin akan menghambat pelepasan hormon perangsang tiroid, sehingga produksi hormon dapat dikendalikan. Mekanisme ini berperan penting dalam menjaga stabilitas fisiologis tubuh.

C. Peran Integrasi Saraf–Endokrin dalam Homeostasis

Homeostasis merupakan kondisi keseimbangan internal tubuh yang harus dipertahankan agar organisme dapat bertahan hidup. Integrasi sistem saraf dan endokrin memungkinkan tubuh mengatur berbagai parameter fisiologis, seperti suhu tubuh, kadar glukosa darah, dan keseimbangan ion.

Ketika terjadi gangguan homeostasis, sistem saraf akan memberikan respons cepat, sedangkan sistem endokrin akan mempertahankan respons tersebut dalam jangka waktu yang lebih lama. Kerja sama ini memastikan tubuh mampu beradaptasi terhadap perubahan kondisi secara efektif.



Gambar 5.1. Sumbu hipotalamus–hipofisis sebagai penghubung saraf–endokrin

Coba Perhatikan Gambar 5.2 berikut



Gambar 5.2. Ilustrasi stres lingkungan pada katak

D. Analisis Integratif dan Debrief

Gunakan konsep pada bab ini untuk memeriksa apakah poster Sistem Saraf dan video Sistem Endokrin telah menjelaskan hubungan sistem saraf–endokrin secara benar. Analisis respons stres sebagai contoh: rangsangan diproses oleh sistem saraf, diikuti aktivasi jalur neuroendokrin, perubahan hormon, respons organ target, dan mekanisme umpan balik.

Debrief kelompok: konsep apa yang awalnya keliru; bukti apa yang mengubah pemahaman; bagian produk apa yang direvisi; dan mengapa solusi akhir lebih tepat daripada rancangan awal? Jawaban rinci didokumentasikan dalam LKM.

BAB VI. IMPLEMENTASI PROYEK DIGITAL

A. Kedudukan Proyek dalam Bahan Ajar

Proyek bukan tugas tambahan setelah membaca materi. Proyek menjadi wahana untuk menggunakan konsep, bukti, dan penalaran dalam menyelesaikan masalah autentik. Bahan ajar menyediakan landasan konseptual dan sumber awal; LKM memandu proses kerja kelompok; rubrik menilai bukti PSS dan kualitas produk.

Tabel 6. 1 Produk dan Bukti Belajar

Topik	Produk tetap	Fokus konseptual	Bukti PSS kelompok
Sistem Saraf	Poster digital	Stimulus–reseptor–integrasi–efektor–respons; impuls dan sinaps; perbandingan vertebrata–invertebrata.	Rumusan masalah, rancangan poster, pemilihan bukti, solusi, umpan balik, dan revisi.
Sistem Endokrin	Video edukasi	Sinyal hormon–reseptor–target–respons–umpan balik; integrasi neuroendokrin; perbandingan vertebrata–invertebrata.	Rumusan masalah, storyboard, pemilihan bukti, solusi, umpan balik, dan revisi.

B. Kriteria Ilmiah dan Komunikasi

Konsep, istilah, mekanisme, dan hubungan sebab–akibat harus akurat. Sumber ilmiah harus dapat ditelusuri; gambar, audio, dan video harus mencantumkan kredit serta mematuhi lisensi. Poster harus terbaca dan memiliki alur visual; video harus memiliki narasi, visual, dan durasi yang proporsional.

Solusi atau pesan edukatif harus sesuai dengan masalah dan didukung bukti. Produk direvisi setelah presentasi dan umpan balik sebelum didiseminasikan.

C. Batas Fungsi Bahan Ajar dan LKM

Bahan ajar tidak menyediakan jawaban proyek jadi. Mahasiswa tetap menentukan masalah, memilih bukti, mengambil keputusan, mengembangkan solusi, dan mengevaluasi produknya. Petunjuk operasional, dokumentasi kontribusi anggota, serta ruang jawaban tersedia dalam LKM Mahasiswa; sedangkan sintaks 6D, indikator CU–PSS, scaffolding, miskonsepsi, dan checkpoint tersedia dalam LKM Panduan Dosen.

BAB VII. PENUTUP

A. Rangkuman

Materi Sistem Saraf dan Sistem Endokrin menjelaskan dua sistem regulasi yang berbeda dalam kecepatan, jalur sinyal, dan durasi respons, tetapi saling berinteraksi dalam koordinasi serta homeostasis hewan. Pemahaman tidak berhenti pada hafalan struktur dan hormon, melainkan mencakup kemampuan menjelaskan mekanisme (C2), menganalisis hubungan sebab-akibat (C4), mengevaluasi bukti dan solusi (C5), serta mencipta representasi ilmiah (C6).

Dalam D-PjBL, konsep tersebut digunakan untuk menjalankan PSS secara kelompok melalui understanding, planning, solving, dan evaluating. Bukti proses dihimpun melalui LKM, sedangkan bukti kinerja diwujudkan dalam poster digital Sistem Saraf dan video edukasi Sistem Endokrin. Dengan demikian, bahan ajar berfungsi sebagai landasan konsep dan sumber awal, bukan sebagai pengganti proses investigasi mahasiswa.

Melalui pendekatan ini, mahasiswa diharapkan mampu membangun pemahaman konsep secara mendalam serta mengembangkan Problem Solving Skill (PSS) secara sistematis, mulai dari tahap identifikasi masalah, analisis konsep, perancangan solusi, hingga pengembangan produk digital.

Dengan demikian, bahan ajar ini tidak hanya mendukung penguasaan konsep, tetapi juga memfasilitasi mahasiswa dalam mengembangkan Problem Solving Skill (PSS) secara sistematis dan berbasis ilmiah.

B. Refleksi Pembelajaran

Refleksi dilakukan sebagai bagian dari evaluasi terhadap proses pembelajaran berbasis proyek yang telah dilaksanakan. Refleksi ini bertujuan untuk mengevaluasi pemahaman konsep serta efektivitas strategi yang digunakan dalam memecahkan masalah. Beberapa pertanyaan reflektif yang dapat digunakan antara lain:

1. Bagaimana pemahaman Anda tentang hubungan antara sistem saraf dan sistem endokrin setelah mempelajari materi ini?
2. Konsep apa yang paling membantu Anda dalam menganalisis permasalahan fisiologis?
3. Bagaimana proses Anda dalam merancang solusi terhadap masalah yang diberikan?
4. Apa kesulitan yang Anda hadapi dalam mengembangkan produk digital berbasis konsep fisiologi?
5. Bagaimana Anda mengevaluasi solusi yang telah Anda kembangkan?

Melalui refleksi ini, mahasiswa diharapkan dapat mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan dalam proses belajar, sehingga dapat meningkatkan kualitas pemahaman konsep dan Problem Solving Skill (PSS) pada pembelajaran berikutnya.

C. Tindak Lanjut

Sebagai tindak lanjut dari pembelajaran menggunakan bahan ajar ini, mahasiswa diharapkan dapat:

1. Mengembangkan pemahaman konsep fisiologi hewan secara lebih luas melalui eksplorasi sumber belajar lainnya.
2. Menerapkan konsep yang telah dipelajari dalam menganalisis berbagai fenomena biologis yang relevan.

3. Mengembangkan Problem Solving Skill (PSS) melalui latihan berbasis kasus yang lebih kompleks.
4. Meningkatkan kualitas produk digital yang dikembangkan dengan memperhatikan aspek ilmiah dan komunikatif.
5. Mengintegrasikan hasil pembelajaran ke dalam praktik pembelajaran biologi sebagai calon guru.

Tindak lanjut ini diharapkan mampu memperkuat keberlanjutan pembelajaran serta meningkatkan kualitas pemahaman konsep dan Problem Solving Skill (PSS) mahasiswa secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (Eds.). (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. Longman.
- Arends, R. I. (2012). *Learning to teach* (9th ed.). McGraw-Hill.
- Betts, J. G., Young, K. A., Wise, J. A., Johnson, E., Poe, B., Kruse, D. H., Korol, O., Johnson, J. E., Womble, M., & DeSaix, P. (2022). *Anatomy and physiology 2e*. OpenStax. <https://openstax.org/books/anatomy-and-physiology-2e/pages/1-introduction>
- Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for quality learning at university* (4th ed.). Open University Press.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Eds.). (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school* (Expanded ed.). National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/9853>
- Campbell, M., & Jialal, I. (2022). Physiology, endocrine hormones. In *StatPearls*. StatPearls Publishing. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538498/>
- Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B. (2018). *Campbell biology* (11th ed.). Pearson.
- Chi, M. T. H., & Wylie, R. (2014). The ICAP framework: Linking cognitive engagement to active learning outcomes. *Educational Psychologist*, 49(4), 219–243. <https://doi.org/10.1080/00461520.2014.965823>
- Clark, M. A., Douglas, M., & Choi, J. (2018). *Biology 2e*. OpenStax. <https://openstax.org/books/biology-2e/pages/1-introduction>
- Hmelo-Silver, C. E. (2004). Problem-based learning: What and how do students learn? *Educational Psychology Review*, 16(3), 235–266. <https://doi.org/10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3>

- Jonassen, D. H. (2011). *Learning to solve problems: A handbook for designing problem-solving learning environments*. Routledge.
<https://doi.org/10.4324/9780203847527>
- Krajcik, J. S., & Blumenfeld, P. C. (2006). Project-based learning. In R. K. Sawyer (Ed.), *The Cambridge handbook of the learning sciences* (pp. 317–334). Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511816833.020>
- Mayer, R. E. (2002). Rote versus meaningful learning. *Theory Into Practice*, 41(4), 226–232.
https://doi.org/10.1207/s15430421tip4104_4
- Moursund, D. (2003). *Project-based learning using information technology* (2nd ed.). International Society for Technology in Education.
- Ormrod, J. E. (2016). *Human learning* (7th ed.). Pearson.
- Polya, G. (1973). *How to solve it: A new aspect of mathematical method* (2nd ed.). Princeton University Press.
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D., Hall, W. C., LaMantia, A.-S., Mooney, R. D., Platt, M. L., & White, L. E. (2018). *Neuroscience* (6th ed.). Oxford University Press.
- Sapolsky, R. M. (2017). *Behave: The biology of humans at our best and worst*. Penguin Press.
- Schunk, D. H. (2012). *Learning theories: An educational perspective* (6th ed.). Pearson.
- Slavin, R. E. (2018). *Educational psychology: Theory and practice* (12th ed.). Pearson.
- Yamin, M. (2013). *Strategi dan metode dalam model pembelajaran*. Referensi.